

# LA DUREZA TOTAL DEL AGUA AFECTA LA MUDA, CALCIFICACIÓN, CRECIMIENTO Y SUPERVIVENCIA DE *Cryphiops caementarius* (PALAEMONIDAE)

## The total water hardness affects molting, calcification, growth and survival of *Cryphiops caementarius* (Palaemonidae)

Fiorella GRACIANO LEÓN<sup>1</sup>, José VÁSQUEZ MORI<sup>1</sup>, Walter REYES-AVALOS<sup>1</sup>\*

1. Universidad Nacional del Santa. Laboratorio de Acuicultura Ornamental. Departamento Académico de Biología, Microbiología y Biotecnología. Facultad de Ciencias. Avenida Universitaria s/n, Urbanización Bellamar, Nuevo Chimbote, Ancash, Perú.

\* For correspondenc: wreyes@uns.edu.pe

Received: 13<sup>th</sup> October 2020. Returned for revision: 03<sup>rd</sup> December 2020. Accepted: 21<sup>st</sup> January 2021.

Associate Editor: Jaime Cantera Kintz

Citation/ citar este artículo como: Graciano León, F., Vázquez Mori, J., y Reyes-Avalos, W. (2022). La dureza total del agua afecta la muda, calcificación, crecimiento y supervivencia de *Cryphiops caementarius* (Palaemonidae). *Acta Biologica Colombiana*, 27(1), 88-96. <https://doi.org/10.15446/abc.v27n1.89933>

### RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de diferentes niveles de dureza total del agua en la muda, calcificación del exoesqueleto, crecimiento y supervivencia de *Cryphiops caementarius*. Los camarones machos fueron colectados del río Pativilca (Lima, Perú) y cultivados en recipientes individuales dentro de acuarios (55 L). Se emplearon cuatro niveles de dureza total del agua (100, 200, 300 y 400 mg CaCO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup>), con tres repeticiones, respectivamente. Los camarones cultivados en agua con dureza de 300 mg L<sup>-1</sup> tuvieron menor periodo de muda (26,7 días) y mayor frecuencia de mudas (tres mudas). El contenido de calcio del exoesqueleto del camarón incrementó ( $p < 0,05$ ) de 25 a 31 % en agua con dureza de 100 y 400 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. El mayor grosor del exoesqueleto (144 μm en cefalotórax y 131 μm en abdomen) fue obtenido en agua con dureza de 400 mg L<sup>-1</sup> y el menor grosor (93 μm en cefalotórax y abdomen) en 100 mg L<sup>-1</sup>. El crecimiento en longitud fue mayor ( $p < 0,05$ ) en agua con durezas de 200 y 300 mg L<sup>-1</sup>. El crecimiento en peso fue similar ( $p > 0,05$ ) entre tratamientos. La mayor supervivencia (> 94,4 %) se mantuvo en agua con durezas de hasta 300 mg L<sup>-1</sup> y la menor supervivencia (77,8 %) fue con 400 mg L<sup>-1</sup>. La dureza total del agua de 200 y 300 mg L<sup>-1</sup> es conveniente para el cultivo del camarón, pero dureza del agua mayor o menor a este rango afectan la muda, el crecimiento y la supervivencia por deficiencia o exceso de calcio acumulado, respectivamente en el exoesqueleto del camarón.

**Palabras clave:** carbonato de calcio, impregnación calcárea, minerales en cutícula, regulación iónica, transporte de calcio.

### ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the effects of different levels of total hardness on the molting, calcification of exoskeleton, growth and survival of *Cryphiops caementarius* prawn. Male prawns were collected from Pativilca river (Lima, Peru) and cultivated in individual containers inside aquariums (55 L). Four levels of the total hardness of water (100, 200, 300 and 400 mg CaCO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup>) were used, with three repetitions, respectively. Prawns cultured in water with hardness of 300 mg L<sup>-1</sup> has a shorter molting period (26.7 days) and a higher frequency of molts (three molts). The calcium content of the prawn exoskeleton increased ( $p < 0.05$ ) from 25 to 31 % in water with hardness of 100 and 400 mg L<sup>-1</sup>, respectively. The greatest thickness of the exoskeleton (144 μm cephalothorax and 131 μm abdomen) was obtained in water with a hardness of 400 mg L<sup>-1</sup> and the smallest thickness (93 μm in the cephalothorax and abdomen) in 100 mg L<sup>-1</sup>. The growth in length was greater ( $p < 0.05$ ) in water with hardness of 200 and 300 mg L<sup>-1</sup>. The weight growth was similar ( $p > 0.05$ ) between treatments. The highest survival (> 94.4 %) was maintained in water with hardness up to 300 mg L<sup>-1</sup> and the lowest survival (77.8 %) was at 400 mg L<sup>-1</sup>. The total hardness of 200 and 300 mg L<sup>-1</sup> is suitable for prawn farming, but hardness high or lower than this range affects the molting, growth and survival due to deficiency or excess of accumulated calcium, respectively, in the prawn exoskeleton.

**Keywords:** calcareous impregnation, calcium carbonate, calcium transport, cuticle minerals, ionic regulation.

## INTRODUCCIÓN

El camarón *Cryphiops caementarius* Molina, 1782, se distribuye en la vertiente occidental de los Andes, desde el río Taymí en el norte de Perú (Méndez, 1981) hasta el río Maipo en la zona central de Chile (Jara, 1997). Las mayores poblaciones se encuentran en los ríos Cañete, Ocoña, Majes-Camaná, Quilca y Tambo en Perú (Zacarías Ríos y Yépez Pinillos, 2015) de donde en el 2018 se extrajo 1141 t que ingresaron al mercado de Lima (PRODUCE, 2019). Esta especie de camarón tiene importancia económica, comercial, culinaria y científica. Por ello, las investigaciones recientes se refieren a la reproducción (Reyes-Avalos, 2011), nutrición (Ramírez León et al., 2018; Terrones España y Reyes Avalos, 2018; Senmache Zamudio y Reyes Avalos, 2020), cultivo (Reyes-Avalos, 2016), ecología (Reyes Avalos et al., 2020), entre otros, lo que indican el interés por generar información para cultivar la especie y contribuir con disminuir la presión extractiva.

Los minerales del agua participan en la osmorregulación y en la muda de los crustáceos (Boyd et al., 2002). El calcio y el magnesio reemplazan las sales que se pierden durante la muda (Greenaway, 1993). El calcio ingresa a la hemolinfa por los epitelios de las branquias (Flik et al., 1994), la hipodermis y la glándula antenal (Wheatly et al., 2002). Sin embargo, la calcificación depende de la bomba de calcio, de la concentración externa de calcio, del pH, la temperatura y el tamaño del crustáceo (Wheatly y Gannon, 1995).

La cutícula de los crustáceos está conformada por epicutícula, exocutícula, endocutícula y capa membranosa (Hegdahl et al., 1978a). En la epicutícula hay mineral cristalino, en la exocutícula hay calcita, en la endocutícula se observan cristales y la capa membranosa no está calcificada (Hegdahl et al., 1978b). Sin embargo, el calcio es inestable en la endocutícula y exocutícula durante la premuda, pero es estable en la epicutícula (Shechter et al., 2008). Además, en la hipodermis, la calcificación ocurre alrededor de las fibras de proteína-quitina, en tabiques y dentro de poros formados por extensiones citoplasmáticas de las células (Giraud-Guille et al., 2004; Romano et al., 2007).

El ciclo de muda comprende las etapas de postmuda, intermuda, premuda y culmina con la ecdisis (da Silva et al., 2019). En la postmuda hay digestión de gastrolitos para calcificación de la cutícula y el calcio restante requerido es tomado del agua por absorción branquial y por ingestión de la exuvia y de alimento; en cambio, en la premuda, el calcio del exoesqueleto es solubilizado desde la cutícula y transportado a las células, tejidos y órganos de almacenamiento temporal, y el exceso se excreta por las branquias (Wheatly, 1999; Ahearn et al., 2004). En la ecdisis, hay ingreso de agua, división celular, expulsión del viejo exoesqueleto, formación de la nueva cutícula que luego endurece por deposición de calcio y otros minerales, e incrementa el peso del animal (Bibiano Cruz et al., 2005).

La dureza total del agua es la concentración de todos los cationes divalentes presentes, y el calcio y el magnesio son dominantes y requeridos por los crustáceos para mineralización del exoesqueleto durante la muda (Boyd y Tucker, 1998). La dureza total entre 50 y 200 mg CaCO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup> es aceptable para organismos acuáticos (Wetzel, 2001). En los ríos donde habita *C. caementarius* la dureza total varía entre 100 y 440 mg L<sup>-1</sup>, pero en aquellos con mayor densidad poblacional la dureza se encuentra entre 100 y 300 mg L<sup>-1</sup> (Zacarías Ríos y Yépez Pinillos, 2015). Sin embargo, actualmente se desconoce la influencia de la dureza total del agua en esta especie de camarón, principalmente en ejemplares machos que son los que poseen mayor grosor del exoesqueleto.

De acuerdo con lo anterior, probamos la hipótesis de que con el nivel de dureza total del agua de 300 mg L<sup>-1</sup> se favorece la muda, la calcificación del exoesqueleto, el crecimiento y la supervivencia de ejemplares machos de *C. caementarius*; en cambio, alta o baja dureza del agua afectan dichas condiciones. Esto se sustenta, además, porque en *Macrobrachium rosenbergii* De Man, 1879, los niveles bajos (65 mg L<sup>-1</sup>) o altos (300 mg L<sup>-1</sup>) de dureza total del agua afectan el crecimiento y la supervivencia (Cripps y Nakamura, 1979; Adhikari et al., 2007; Abidin, 2011), dado que la calcificación del exoesqueleto de los crustáceos depende principalmente de los niveles del ion calcio presentes en el agua (Wærvågen et al., 2016). Por consiguiente, el objetivo fue evaluar los efectos de diferentes niveles de dureza total del agua en la muda, calcificación del exoesqueleto, crecimiento y supervivencia de *C. caementarius*.

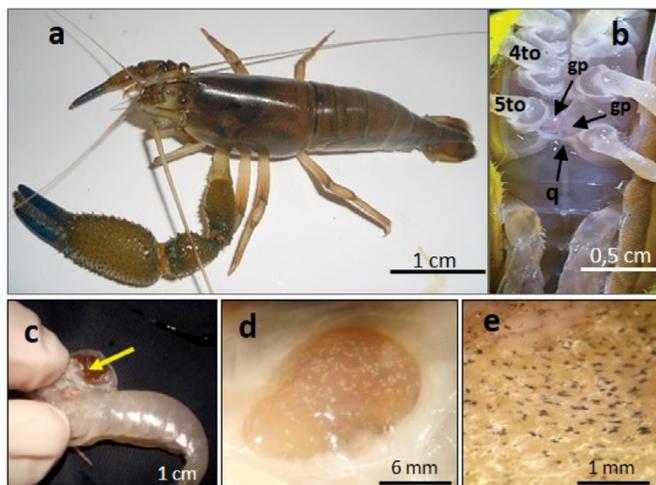


**Figura 1.** Parte baja del río Pativilca. La elipse roja indica la zona de captura de *C. caementarius*, cerca del Centro Poblado Huayto (Lima, Perú).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Colecta

Los camarones fueron colectados del río Pativilca (Lima, Perú), cerca del Centro Poblado Huayto (10°40' S, y 77°40' W, a 241 m.s.n.m) (Fig. 1) y transportados en un sistema



**Figura 2.** Camarón *C. caementarius*. a) Macho adulto. b) Zona ventral del cefalotórax que muestra la ubicación de los gonópodos (gp) y la quilla (q) que une los coxopoditos del quinto par de periópodos (5to). c) La flecha indica la impregnación calcárea en la pared interna de la parte lateral del cefalotórax. d). Impregnación calcárea vista con estereoscopio a 4X. e) Impregnación calcárea vista con estereoscopio a 10X. 4to: cuarto par de periópodos.

de vasos individuales acondicionados en recipientes de 45 L (Reyes-Avalos, 2016). La especie *Cryphiops caementarius* se reconoció con clave taxonómica (Méndez, 1981) y según el Carideorum Catalogus de De Grave y Franssen (2011) esta especie pertenece al subgénero *Cryphiops*. El sexo del camarón macho se verificó por la presencia de un gonópodo en cada coxopodito del quinto par de periópodos y por la presencia de quilla estrecha en esta zona (Fig. 2a-2b). Los camarones fueron aclimatados durante 10 días en el mismo sistema de transporte y el agua fue renovada (30 %) tres veces para mantener la calidad (temperatura  $25,22 \pm 0,55$  °C; oxígeno disuelto  $5,28 \pm 0,30$  mg L<sup>-1</sup>; pH  $7,12 \pm 0,42$ ; dureza total  $211,24 \pm 12,56$  mg L<sup>-1</sup>; nitritos  $0,13 \pm 0,05$  mg L<sup>-1</sup> y amonio  $0,01 \pm 0,01$  mg L<sup>-1</sup>). El procedimiento del experimento con animales vivos fue de acuerdo con la Ley peruana vigente (Ley 27265).

### Sistema de cultivo

El sistema de cultivo individual fue el empleado por Reyes-Avalos (2016), que consistió en 12 acuarios de vidrio (60 L) cada uno con filtro biológico percolador (1,5 L min<sup>-1</sup>) integrado a un sistema de recirculación de agua tipo air-water-lift. En cada acuario se instalaron seis recipientes de cultivo individual (19 cm de diámetro y 284 cm<sup>2</sup>) que se dispusieron en dos grupos de tres niveles (Fig. 3). Los recipientes de cultivo individual tuvieron aberturas en los laterales y un tubo de PVC de ½" de diámetro que sobresalió el nivel del agua y por donde se introdujeron los gránulos de alimento.

La solución stock fue preparada por dilución de 4 g de CaCl<sub>2</sub> 2H<sub>2</sub>O en 1 L de agua destilada, con el cual se obtuvo una dureza total de 2200 mg L<sup>-1</sup> (expresado como CaCO<sub>3</sub>) (Londoño Carvajal et al., 2010). Luego, esta solución fue

adicionada al agua de cada acuario, mediante un sistema de goteo (Fig. 3) y mediante los cálculos de volumen concentración se logró obtener los niveles de 100, 200, 300 y 400 mg L<sup>-1</sup> de dureza total, que correspondieron a cada tratamiento. La reposición del 10 % de agua se realizó cada semana y se mantuvo mínima variación de los niveles de dureza total del agua ( $\pm 5$  mg L<sup>-1</sup>) de cada tratamiento.

Los camarones machos seleccionados (n = 72) estaban entre 3,60 a 4,20 cm de longitud total y 1,60 a 2,20 g de peso húmedo, tuvieron apéndices cefalotorácicos completos y fueron sembrados al azar en cada recipiente de cultivo individual (32 camarones m<sup>-2</sup>). Los camarones fueron alimentados con balanceado (30 % de proteína bruta, 8,1 % de lípidos totales, 4,6 % de fibra y 2600 kcal kg<sup>-1</sup>) (Reyes-Avalos, 2016). El nivel de alimentación fue del 5 % del peso húmedo y la ración diaria (30 % a las 09:00 h y 70 % a las 16:00 h) fue reajustada cada 15 días.

### Muda

El período entre mudas y la frecuencia de mudas de los camarones se determinó por la presencia de exoesqueletos en los recipientes de cultivo.

### Calcio en exoesqueleto

El contenido de calcio en los exoesqueletos de los camarones se determinó al final de la experiencia en nueve ejemplares seleccionados al azar de cada tratamiento. Se empleó el método titulométrico (Félix et al., 2008) para lo cual se calcinan los exoesqueletos a 500 °C por 6 h, luego 0,1 g de cenizas es diluido en 3 mL de HCl y aforado con agua destilada a 100 mL. De esta solución, se extraen 25 mL y después se agregaron 5 mL de NaOH 2M. El calcio de las muestras se calculó con la fórmula:

$$\text{Ca (mg L}^{-1}\text{)} = (A \times B \times 400,8) / \text{mL de muestra}$$

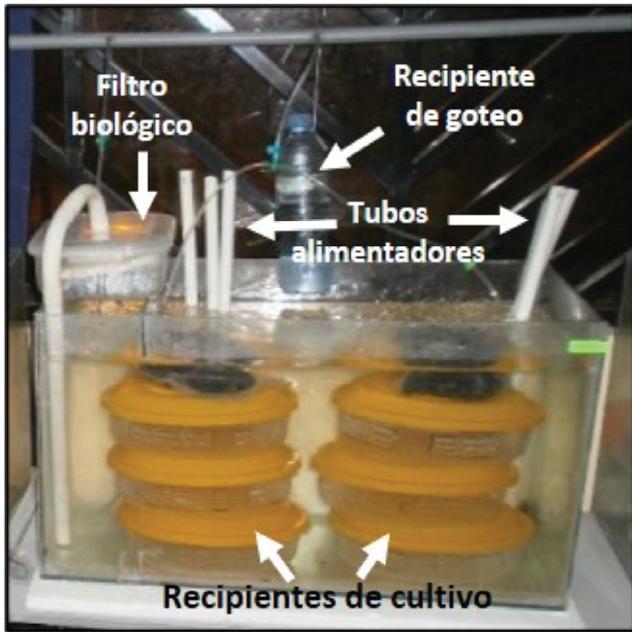
donde A es el volumen (mL) de EDTA para la muestra, B es el volumen (mL) de CaCO<sub>3</sub>, equivalente a 1 mL de EDTA en el punto final de indicador para calcio.

### Grosor del exoesqueleto

El grosor del exoesqueleto se midió en nueve camarones de cada tratamiento, los que fueron seleccionados al azar al final del experimento. La zona lateral, central e inferior tanto del cefalotórax como de la pleura del segundo segmento abdominal fue elegida para realizar los cortes transversales (~0,5 mm<sup>2</sup>) mediante un bisturí quirúrgico. La medición del grosor de cada corte se realizó con ocular micrométrico (EM-15X Lomo) en un microscopio Olympus.

### Crecimiento y supervivencia

Los camarones fueron muestreados cada 15 días durante 90 días que duró el experimento. El peso total de los



**Figura 3.** Sistema de recipientes de cultivo individual de *C. caementarius* instalados en acuario.

camarones se determinó en balanza digital (ADAM AQT600  $\pm 0,1$  g). La longitud total (desde la escotadura post orbital hasta el extremo posterior del telson) se midió con vernier ( $\pm 0,05$  mm) con los camarones posicionados ventralmente. Los parámetros zootécnicos calculados fueron los siguientes:

$$\text{Ganancia porcentual} = [(X_2 - X_1) / X_1] \times 100$$

$$\text{Tasa de crecimiento absoluto} = (X_2 - X_1) / t_2 - t_1$$

$$\text{Tasa de crecimiento específico} = [(\ln X_2 - \ln X_1) / (t_2 - t_1)] \times 100$$

$$\text{Supervivencia} = (N_i \times 100) / N_f$$

donde  $X_1$  y  $X_2$  es el peso húmedo (g) o la longitud total (cm), inicial y final;  $t_1$  y  $t_2$  es la duración en días;  $\ln X_1$  y  $\ln X_2$  el logaritmo natural del peso o la longitud inicial y final;  $N_i$  es el número inicial de camarones;  $N_f$  el número final de camarones.

### Calidad del agua

Los desechos sólidos acumulados en los acuarios fueron extraídos con sifón una vez por semana. El registro de los parámetros de calidad del agua de cada acuario fue realizado cada 15 días y se midió oxígeno disuelto ( $\pm 0,01$  mg L<sup>-1</sup>), temperatura ( $\pm 0,01$  °C) y pH ( $\pm 0,01$  unidades) mediante equipo multifuncional Hatch Lange. La dureza total del agua se determinó por el método titulométrico según Londoño Carvajal et al. (2010). El amonio total y los nitritos se analizaron con los Test Colorimétricos Nutrafin ( $\pm 0,5$  mg L<sup>-1</sup>).

### Análisis estadístico

Los datos se analizaron con la prueba de Shapiro-Wilk ( $p > 0,05$ ) y todos cumplieron el supuesto de distribución

normal. Las diferencias entre las medias del periodo y frecuencia de mudas, del grosor y contenido de calcio del exoesqueleto, del crecimiento y supervivencia de los camarones, así como de los parámetros físicos y químicos del agua de cultivo, se analizaron mediante ANOVA de una vía y con la prueba de comparación de medias de Duncan ( $p < 0,05$ ). Adicionalmente, se realizó la correlación de Pearson ( $p < 0,01$ ) entre el contenido de calcio y el grosor del exoesqueleto de los camarones. El procesamiento estadístico se realizó con el software SPSS versión 23 para Windows.

### RESULTADOS

La frecuencia de mudas (FM) de los camarones cultivados en agua con dureza (D) de 200 y 300 mg L<sup>-1</sup> fue de  $2,7 \pm 0,0$  y  $3,0 \pm 0,0$  mudas, respectivamente, las que fueron diferentes ( $p < 0,05$ ) a los cultivados en 100 y 400 mg L<sup>-1</sup> que fueron de  $2,1 \pm 0,1$  y  $2,2 \pm 0,2$  mudas, respectivamente, cuya ecuación fue  $FM = -4 \times 10^{-5} D^2 + 0,0181 D + 0,6$  ( $R^2 = 0,9407$ ). El período entre mudas (PM) de los camarones cultivados en agua con dureza de 300 mg L<sup>-1</sup> fue de  $26,7 \pm 0,1$  días; en 400 mg L<sup>-1</sup> fue de  $27,9 \pm 0,6$  días; en 200 mg L<sup>-1</sup> fue de  $28,9 \pm 0,1$  días y en 100 mg L<sup>-1</sup> de  $29,7 \pm 0,5$  días; pero hubo diferencias ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos, cuya ecuación fue  $PM = 5 \times 10^{-5} D^2 + 0,0326 D + 32,7$  ( $R^2 = 0,7714$ ).

El contenido de calcio en los exoesqueletos de los camarones incrementó de 25 % en los cultivados en agua con dureza de 100 mg L<sup>-1</sup>, hasta 31 % en agua con dureza de 400 mg L<sup>-1</sup>; los que fueron diferentes ( $p < 0,05$ ) con los cultivados en dureza intermedia (200 y 300 mg L<sup>-1</sup>), cuyo contenido de calcio fue de 27 y 28 %, respectivamente. Sin embargo, la correlación entre el contenido de calcio y la dureza del agua fue alta y positiva (Tabla 1).

El grosor del exoesqueleto del cefalotórax de los camarones incrementó significativamente ( $p < 0,05$ ) conforme aumentó el nivel de dureza del agua. En cambio, el grosor del exoesqueleto del abdomen fue similar ( $p > 0,05$ ) hasta con 300 mg L<sup>-1</sup>, pero el mayor grosor se obtuvo en 400 mg L<sup>-1</sup> el que fue diferente ( $p < 0,05$ ) de los demás tratamientos. En ambos casos existió correlación alta y positiva (Tabla 1).

Los camarones cultivados en agua con dureza de 300 mg L<sup>-1</sup> crecieron más en longitud que aquellos de los demás tratamientos, excepto con los de 200 mg L<sup>-1</sup> que fueron similares ( $p > 0,05$ ). Las tasas de crecimiento absoluto y específico en longitud, así como la ganancia porcentual en longitud fueron mayores ( $p < 0,05$ ) cuando se cultivaron en agua con dureza de 200 y 300 mg L<sup>-1</sup>, en cambio, aquellos cultivados en 100 y 400 mg L<sup>-1</sup> fueron los que menos crecieron en longitud ( $p < 0,05$ ). El crecimiento en peso de los camarones fue similar entre tratamientos ( $p > 0,05$ ), aunque los cultivados en agua con dureza de 200 y 300 mg L<sup>-1</sup> mostraron tendencia a crecer más en peso (Tabla 2).

Los camarones cultivados en agua con dureza de 100 y 200 mg L<sup>-1</sup> sobrevivieron (100 %) durante el periodo

experimental, y aquellos cultivados en dureza de 300 mg L<sup>-1</sup> mantuvieron alta supervivencia (94,4 %) desde los 15 días de cultivo. En cambio, la supervivencia de los cultivados en agua con dureza de 400 mg L<sup>-1</sup> disminuyó desde los 45 días (88,9 %) hasta el final del experimento (77,8 %), pero sin diferencias ( $p > 0,05$ ) con los demás tratamientos. Los camarones cultivados en agua con dureza de 400 mg L<sup>-1</sup> mostraron impregnaciones calcáreas en la parte interna y lateral del cefalotórax (Fig. 2c-2e), así como un aparente enrojecimiento de las branquias.

Los parámetros de calidad del agua fueron similares entre tratamientos ( $p > 0,05$ ) durante el periodo experimental. La temperatura promedio del agua fue de 25,42 °C y el oxígeno del agua fue de 5,24 mg L<sup>-1</sup>. El promedio de amonio fue de 0,02 mg L<sup>-1</sup> y los nitritos de 0,14 mg L<sup>-1</sup>. El pH tiende a incrementar de 7,34 a 7,97 con el incremento del nivel de dureza del agua, aunque sin diferencias ( $p > 0,05$ ) entre tratamientos y el promedio fue de 7,65 unidades.

## DISCUSIÓN

Los camarones machos adultos de *C. caementarius* cultivados en agua con dureza total de 200 y 300 mg L<sup>-1</sup> incrementaron su frecuencia de mudas, hubo adecuada calcificación del exoesqueleto, crecieron más en longitud y mantuvieron alta supervivencia; contrario a lo sucedido en agua con dureza total de 100 y 400 mg L<sup>-1</sup>. Estos resultados demuestran por primera vez la importancia de la dureza total del agua para el cultivo de esta especie de camarón, aunque es necesario investigar las concentraciones requeridas en otras etapas de su ciclo de vida (p. ej. postlarvas y juveniles). En otros crustáceos de agua dulce como en machos, hembras y larvas de *M. rosenbergii* (New, 2002; Wilder et al., 2009; Tavabe et al., 2015), así como en juveniles de *Procambarus clarkii* Girard, 1852 (Wheatly y Gannon, 1995) y adultos de *Astacus astacus* Linnaeus, 1758 (Rukke, 2002) requieren menores niveles de dureza total, lo que sugiere que ello depende de la especie.

La dureza total del agua de 100 y 400 mg L<sup>-1</sup> ocasionó disminución de la frecuencia de mudas y alargamiento del periodo entre mudas de *C. caementarius* durante los 90 días de cultivo, más no ocurrió en los otros niveles de dureza. Es probable que los resultados se relacionen con el mayor gasto de energía que se requiere para el intercambio de calcio

(Hessen et al., 1991; Wheatly et al., 2002; Sá et al., 2010) pues en un medio con deficiencia o exceso de carbonato de calcio en el agua se afecta el proceso de muda en la especie, principalmente en alta dureza total del agua toda vez que observamos impregnaciones calcáreas en el caparazón y enrojecimiento de las branquias. Los camarones adultos de *M. rosenbergii* cultivados en agua con dureza total de 65 mg L<sup>-1</sup> mudan cada 25 días y con 300 mg L<sup>-1</sup> cada 37 días (Cripps y Nakamura, 1979).

El contenido de calcio en el exoesqueleto de *C. caementarius* incrementó conforme aumentó la dureza total del agua, cuya relación positiva, alta y significativa demostró por primera vez la facilidad con que se acumula calcio en la cutícula de la especie. El calcio es el principal mineral de la cutícula de los crustáceos (Luquet y Marín, 2004) e ingresa pasivamente a las células por los epitelios de transporte de calcio de las branquias, intestino y glándula antenal (Ahearn et al., 2004), por ello, el calcio del agua se correlaciona con el calcio del exoesqueleto (Jussila, 1997). Además, el contenido inicial de calcio en el exoesqueleto de *C. caementarius* fue similar al de *M. rosenbergii* en la intermuda (25 %) (Wilder et al., 2009), lo que sugiere que *C. caementarius* posee mayor consistencia de su cutícula y que este depende de la concentración de calcio del agua. Otros crustáceos de agua dulce poseen menor contenido de calcio en el exoesqueleto, como el 13 % en *M. vollenhovenii* Herklots, 1851 (Ehigiator y Akise, 2013) y 14 % en *Cherax quadricarinatus* Von Martens, 1868 (Tierney et al., 2019).

La acumulación de calcio en el exoesqueleto de *C. caementarius* ocasionó incremento del grosor del exoesqueleto del cefalotórax en mayor proporción que el del abdomen, pero en ambos hubo correlación alta y positiva ( $p < 0,05$ ) con el aumento del nivel de dureza total del agua. Estos resultados demuestran que la cutícula del cefalotórax fue más activa en acumular calcio y lograr mayor rigidez, probablemente para proteger los órganos vitales alojados en esta parte del cuerpo del animal. En *A. astacus*, el contenido de calcio del medio se relaciona con el grosor del caparazón del animal (Wærvågen et al., 2016) y el mayor grosor y rigidez del caparazón de *P. clarkii*, se obtiene en la intermuda (Amer et al., 2016).

Cripps y Nakamura (1979) encontraron que la reducción del crecimiento en longitud de *M. rosenbergii* se da en agua con durezas de 300 a 500 mg L<sup>-1</sup>, mientras que con

**Tabla 1.** Grosor y contenido de calcio del exoesqueleto de *C. caementarius* cultivados a diferentes niveles de dureza total del agua (CaCO<sub>3</sub>), durante 90 días.

Exoesqueleto	Dureza total (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )				r
	100	200	300	400	
Contenido de calcio (%)	25,34 ± 0,45 <sup>c</sup>	27,90 ± 0,44 <sup>b</sup>	28,58 ± 0,25 <sup>b</sup>	31,24 ± 0,29 <sup>a</sup>	0,969*
Grosor del cefalotórax (µm)	93,82 ± 7,74 <sup>c</sup>	100,00 ± 3,96 <sup>c</sup>	125,00 ± 0,96 <sup>b</sup>	143,85 ± 1,52 <sup>a</sup>	0,962*
Grosor del abdomen (µm)	93,78 ± 3,74 <sup>bc</sup>	87,46 ± 3,48 <sup>bc</sup>	106,33 ± 16,50 <sup>b</sup>	131,29 ± 6,56 <sup>a</sup>	0,799*

(\*) La correlación es significativa ( $p < 0,01$ ). a, b, c Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes entre tratamientos ( $p < 0,05$ , Prueba de Duncan).

**Tabla 2.** Parámetros de crecimiento (media  $\pm$  desviación estándar) de *C. caementarius* cultivados a diferentes niveles de dureza total del agua ( $\text{CaCO}_3$ ), durante 90 días.

Parámetros	Dureza total ( $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ )			
	100	200	300	400
LT inicial (cm)	3,77 $\pm$ 0,19 <sup>a</sup>	4,01 $\pm$ 0,16 <sup>a</sup>	4,05 $\pm$ 0,39 <sup>a</sup>	4,00 $\pm$ 0,18 <sup>a</sup>
LT final (cm)	4,55 $\pm$ 0,35 <sup>a</sup>	4,97 $\pm$ 0,19 <sup>ab</sup>	5,36 $\pm$ 0,46 <sup>b</sup>	4,75 $\pm$ 0,32 <sup>ab</sup>
GP (%)	16,97 $\pm$ 2,27 <sup>a</sup>	19,36 $\pm$ 1,88 <sup>ab</sup>	23,99 $\pm$ 2,73 <sup>b</sup>	16,12 $\pm$ 3,88 <sup>a</sup>
TCA ( $\text{cm día}^{-1}$ )	0,009 $\pm$ 0,002 <sup>a</sup>	0,011 $\pm$ 0,001 <sup>ab</sup>	0,014 $\pm$ 0,002 <sup>b</sup>	0,008 $\pm$ 0,002 <sup>a</sup>
TCE ( $\%$ $\text{día}^{-1}$ )	0,21 $\pm$ 0,03 <sup>a</sup>	0,24 $\pm$ 0,02 <sup>ab</sup>	0,31 $\pm$ 0,04 <sup>b</sup>	0,18 $\pm$ 0,05 <sup>a</sup>
PT inicial (g)	1,68 $\pm$ 0,16 <sup>a</sup>	1,79 $\pm$ 0,21 <sup>a</sup>	2,20 $\pm$ 0,18 <sup>a</sup>	1,86 $\pm$ 0,50 <sup>a</sup>
PT final (g)	2,86 $\pm$ 0,75 <sup>a</sup>	3,06 $\pm$ 0,34 <sup>a</sup>	3,74 $\pm$ 0,69 <sup>a</sup>	2,93 $\pm$ 0,65 <sup>a</sup>
GP (%)	39,50 $\pm$ 4,58 <sup>a</sup>	40,10 $\pm$ 8,65 <sup>a</sup>	40,38 $\pm$ 2,52 <sup>a</sup>	37,21 $\pm$ 9,66 <sup>a</sup>
TCA ( $\text{g día}^{-1}$ )	0,013 $\pm$ 0,007 <sup>a</sup>	0,014 $\pm$ 0,014 <sup>a</sup>	0,017 $\pm$ 0,007 <sup>a</sup>	0,012 $\pm$ 0,012 <sup>a</sup>
TCE ( $\%$ $\text{día}^{-1}$ )	0,57 $\pm$ 0,19 <sup>a</sup>	0,60 $\pm$ 0,17 <sup>a</sup>	0,58 $\pm$ 0,05 <sup>a</sup>	0,53 $\pm$ 0,18 <sup>a</sup>

LT: Longitud total. PT: Peso total. GP= Ganancia Porcentual. TCA=Tasa de crecimiento absoluto. TCE = Tasa de crecimiento específico. a, b Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes entre tratamientos ( $p < 0,05$ , Prueba de Duncan).

65  $\text{mg L}^{-1}$  el crecimiento es mayor. No obstante, la dureza del agua ideal para el cultivo de *M. rosenbergii* es de 50 a 200  $\text{mg L}^{-1}$  (Wetzel, 2001; New, 2002). Los camarones *C. caementarius* cultivados en agua con dureza total intermedia (200 y 300  $\text{mg L}^{-1}$ ) crecieron más en longitud ( $p < 0,05$ ) que aquellos con dureza menor o mayor de este rango; aunque el crecimiento en peso fue similar entre tratamientos ( $p > 0,05$ ). Esta dureza total intermedia del agua se registra en los ríos donde abunda la especie de camarón (Zacarías Ríos y Yépez Pinillos, 2015), lo que indica que está adaptada a estos niveles de dureza total, por lo que debe tenerse en cuenta para su cultivo.

El menor crecimiento de *C. caementarius* cultivado en agua con baja dureza total (100  $\text{mg L}^{-1}$ ) sugiere que en estas condiciones el camarón debe haber realizado mayor esfuerzo en bombear calcio para mantener la homeostasis, en desmedro de la energía que se requiere para crecimiento. En *A. astacus*, el agua dulce pobre en calcio ocasiona que los animales realicen continua absorción de calcio durante todo el ciclo de muda (Hessen et al., 1991) y en estas condiciones hay mayor gasto de energía principalmente durante la ecdisis y la postmuda (Wheatly et al., 2002).

Así mismo, el alto nivel de dureza total del agua (400  $\text{mg L}^{-1}$ ) que ocasionó mayor acumulación de calcio y mayor engrosamiento del exoesqueleto de *C. caementarius*, también debe haber afectado el crecimiento del camarón por el gasto de energía que se requiere para disolver el exceso de calcio acumulado en la cutícula y luego para romper el grueso exoesqueleto durante la ecdisis, ya que durante la premuda los crustáceos reabsorben calcio de su exoesqueleto para debilitar la cutícula y permitir la ecdisis (Wheatly, 1999). Además, se conoce que los altos niveles de dureza total del agua inhiben la actividad hormonal en *Pacifastacus leniusculus* Dana, 1852 y *M. rosenbergii* (Wheatly y Toop, 1989; Adhikari et al., 2007) y la de las enzimas en las branquias de *Carcinus maenas* Linnaeus, 1758 y de *Dilocarcinus pagei* Stimpson, 1861 (Winkler, 1986; Sá et al., 2010), con lo cual se altera la osmorregulación y la regulación de iones.

La mayor concentración de calcio en el exoesqueleto de *C. caementarius* cultivado en agua con alta dureza total (400  $\text{mg L}^{-1}$ ) y el menor crecimiento obtenido, no solamente indican la facilidad con que ingresa y se acumula el calcio dentro del camarón, sino de lo perjudicial que es el exceso de este catión. En los epitelios de transporte de calcio de los crustáceos (branquias, intestino y glándula antenal), el calcio se mueve pasivamente a través de la membrana apical y pasa a la sangre por transporte activo (Ahearn et al., 2004). En los crustáceos de agua dulce, los epitelios del hepatopáncreas y de la glándula antenal participan en la homeostasis del calcio, pero elevado nivel de calcio es citotóxico, pues este ion se almacena en el retículo endoplasmático y en las mitocondrias, y cuando se une a proteínas forman gránulos que se almacena en vacuolas (Wheatly et al., 2002). En consecuencia, de acuerdo con lo que sucede en otros crustáceos, *C. caementarius* es sensible al agua con alta dureza total (400  $\text{mg L}^{-1}$ ) y, por consiguiente, al exceso de calcio en el medio, lo que explicaría las alteraciones en la frecuencia y periodo de mudas que ocasionó disminución del crecimiento del camarón.

Las impregnaciones calcáreas observadas en la pared interna de la parte lateral del cefalotórax y el aparente enrojecimiento de las branquias de *C. caementarius* cultivados en agua con alta dureza total (400  $\text{mg L}^{-1}$ ), sugiere que hubo alteración de los epitelios que transportan calcio. En las branquias de *C. maenas* y de *Leptograpsus variegatus* Fabricius, 1793, las células epiteliales permiten el transporte de calcio hacia el exoesqueleto y a diferentes órganos (Morris y Greenaway, 1992). Además, la precipitación del carbonato de calcio en la superficie del camarón probablemente haya sido acelerado por el ligero incremento del pH del agua con alta dureza total. En *M. rosenbergii*, Bibiano Cruz et al. (2005), determinaron que el gradiente de pH afecta la solubilidad del carbonato de calcio en el medio acuático que favorece la precipitación sobre la cutícula recientemente formada por el organismo durante la postmuda. Abidin (2011) determinó que el incremento del pH del agua (de

7,2 a 8,0) provoca descomposición iónica del hidróxido de calcio, pero este rango de pH no afecta el crecimiento de *M. rosenbergii*. El pH óptimo para el crecimiento y salud de los animales acuáticos está entre 6,5 a 9,0 (Boyd y Tucker, 1998). Los demás parámetros de calidad del agua de cultivo de *C. caementarius* en los diferentes niveles de dureza total, fueron similares a los del hábitat de la especie (Zacarías Ríos y Yépez Pinillos, 2015).

La alta dureza total del agua (400 mg L<sup>-1</sup>) no solo afectó el crecimiento y la muda de *C. caementarius*, como ha sido demostrado aquí, sino también ocasionó muertes de camarones, aunque no hubo diferencias significativas con aquellos cultivados en menores niveles de dureza, pero en un cultivo comercial hay repercusión en el rendimiento y rentabilidad. Es probable que altos niveles de dureza total (> 400 mg L<sup>-1</sup>) ocasionen mayores problemas fisiológicos en el camarón lo que es necesario investigar, toda vez que el exceso de calcio es citotóxico (Wheatly et al., 2002).

Los niveles de dureza total del agua entre 100 y 300 mg L<sup>-1</sup> ocurren en los ríos del Perú con alta densidad poblacional de *C. caementarius* como en Cañete, Ocoña y Majes - Camaná; en cambio, durezas  $\geq$  400 mg L<sup>-1</sup> se encuentra en los ríos Quilca y Tambo donde hay baja densidad poblacional (Zacarías Ríos y Yépez Pinillos, 2015). Por consiguiente, de acuerdo con los resultados presentados aquí, se infiere que bajos ( $\leq$  100 mg L<sup>-1</sup>) y altos ( $\geq$  400 mg L<sup>-1</sup>) niveles de dureza total del agua en el ambiente natural afectan el crecimiento y la supervivencia de *C. caementarius*, por lo que es probable que se relacione con su densidad poblacional. Para comprobar este supuesto, es necesario investigar lo que podría suceder en embriones, larvas, postlarvas, juveniles y hembras de esta especie de camarón expuestos a diferentes niveles de dureza total del agua. Se conoce que en *M. rosenbergii*, las postlarvas soportan hasta 80 mg L<sup>-1</sup> de dureza del agua, los juveniles hasta 160 mg L<sup>-1</sup> (Lafit, 1992) y a 110 y 190 mg L<sup>-1</sup> hay menor rendimiento reproductivo y calidad de la prole (Tavabe et al., 2015).

## CONCLUSIONES

En esta investigación se demostró por primera vez en camarones machos de *C. caementarius*, que la dureza total del agua de 200 y 300 mg L<sup>-1</sup> es conveniente para la muda, la calcificación del exoesqueleto, el crecimiento y la supervivencia. En cambio, sucede todo lo contrario cuando la dureza total es de 100 mg L<sup>-1</sup> o 400 mg L<sup>-1</sup>, debido a la deficiencia o exceso de calcio, respectivamente, en el exoesqueleto del camarón. Estos resultados constituyen el primer referente que se tiene en relación con la dureza total del agua a tenerse en cuenta para el cultivo de esta especie de camarón.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Departamento Académico de Biología, Microbiología y Biotecnología de la Universidad

Nacional del Santa por proporcionar los materiales y equipos necesarios para desarrollar la investigación. Así mismo, al Dr. Víctor J. Moscoso-Villacorta, por el esclarecimiento de la nueva escritura del género y subgénero *Cryphiops* que habita en los ríos costeros del Perú.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

## REFERENCIAS

- Abidin, J. (2011). *Penambahan kalsium untuk meningkatkan kelangsungan hidup dan pertumbuhan juvenil udang galah (Macrobrachium rosenbergii de Man) pada media bersalinitas*. [Master Thesis]. Institut Pertanian Bogor.
- Adhikari, S., Chaurasia, V. S., Naqvi, A. A., y Pillai, B. R. (2007). Survival and growth of *Macrobrachium rosenbergii* juvenile in relation to calcium hardness and bicarbonate alkalinity. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 7, 23-26.
- Ahearn, G. A., Mandal, P. K., y Mandal, A. (2004). Calcium regulation in crustaceans during the molt cycle: a review and update. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 137(2), 247-257. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2003.10.012>
- Amer, M. A., El-Sayed, A. A. M., Al-Damhougy, K. A., y Zaahkhouk, S. A. (2016). Histological changes in cuticle of the red swamp crayfish, *Procambarus clarkii* during molting cycle. *Annual Research & Review in Biology*, 11(1), 1-10. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2016/28564>
- Bibiano Cruz, L., Garfias Soliz, J., y Llanos Acebo, H. (2005). Sistemas de ablandamiento del agua y su influencia en la respuesta fisiológica del langostino *Macrobrachium rosenbergii*. *Estudios del Museo de Ciencias Naturales de Álava*, 20, 5-18.
- Boyd, C. E., y Tucker, C. S. (1998). *Pond aquaculture water quality management*. Kluwer Academic Publishers.
- Boyd, C. E., Thunjai, T., y Boonyaratpalin, M. (2002). Dissolved salts in water for inland low-salinity shrimp culture. *Global Aquaculture Advocate*, 5(3), 40-45.
- Cripps, M. C., y Nakamura, R. M. (1979). Inhibition of growth of *Macrobrachium rosenbergii* by calcium carbonate water hardness. *Proceedings of the World Mariculture Society*, 10, 575-580. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1979.tb00056.x>
- da Silva, M. A. S., Ramiro, B. O., Neto, M. E. O., y Guerra, R. R. (2019). Moulting cycle stages in *Macrobrachium rosenbergii* by setogenesis method. *Boletim do Instituto de Pesca*, 45(2), e428. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2019.45.2.428>
- De Grave, S., y Franssen, C. H. J. M. (2011). Carideorum Catalogus: the recent species of the Dendrobranchiate, Stenopodidean, Procarididean and Caridean shrimps (Crustacea: Decapoda). *Zoologische Mededeelingen Leiden*, 85(9), 30.ix.2011: 195-589.

- Ehigiator, F. A. R., y Akise, O. G. (2013). Proximate composition, macro and trace mineral compositions of different body parts of *Macrobrachium vollehovenii* from Ovia river in Edo state, Nigeria. *Tropical Freshwater Biology*, 22, 1-11. <https://doi.org/10.4314/tfb.v22i1.1>
- Félix, J., Cruz, J., y Valderrama, I. (2008). *Manual de prácticas de laboratorio en química analítica*. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional de Trujillo.
- Flik, G., Verboost, P. M., Atsma, W., y Lucu, C. (1994). Calcium transport in gill plasma membranes of the crab *Carcinus maenas*: evidence for carriers driven by ATP and a Na<sup>+</sup> gradient. *Journal of Experimental Biology*, 195, 109-122.
- Giraud-Guille, M. -M., Belamie, E., y Mosser, G. (2004). Organic and mineral network in carapaces, bones and biomimetic materials. *Comptes Rendus Palevol*, 3(6-7), 503-513. <https://doi.org/10.1016/j.crpv.2004.07.004>
- Greenaway, P. (1993). Calcium and magnesium balance during molting in land crabs. *Crustacean Biology*, 13(2), 191-197. <https://doi.org/10.1163/193724093X00011>
- Hegdahl, T., Gustavsen, F., y Silness, J. (1978a). The structure and mineralization of the carapace of the crab (*Cancer pagurus* L.). 3. The epicuticle. *Zoologica Scripta*, 6(3), 215-220. <https://doi.org/10.1111/j.1463-6409.1978.tb00772.x>
- Hegdahl, T., Gustavsen, F., y Silness, J. (1978b). The structure and mineralization of the carapace of the crab (*Cancer pagurus* L.). 2. The exocuticle. *Zoologica Scripta*, 6(2), 101-105. <https://doi.org/10.1111/j.1463-6409.1978.tb00789.x>
- Hessen, D., Kristiansen, G., y Lid, I. (1991). Calcium uptake from food and water in the crayfish *Astacus astacus* (L., 1758), measured by radioactive <sup>45</sup>Ca (Decapoda, Astacidea). *Crustaceana*, 60(1), 76-83.
- Jara, C. G. (1997). Antecedentes sobre el desarrollo de la carcinología en Chile. *Investigaciones Marinas*, 25, 245-254. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-71781997002500017>
- Jussila, J. (1997). Carapace mineralization and hepatopancreatic indices in natural and cultured populations of marron (*Cherax tenuimanus*) in Western Australia. *Marine and Freshwater Research*, 48(1), 67-72. <https://doi.org/10.1071/MF96057>
- Lafit, M. A. (1992). *A study of the effects of alkalinity and total hardness on postlarvae and juvenile of the giant freshwater prawn Macrobrachium rosenbergii (De Man)*. [Doctoral Thesis]. Institute of Aquaculture. University of Stirling.
- Londoño Carvajal, A., Giraldo Gómez, G. I., y Gutiérrez Gallego, A. A. (2010). *Métodos analíticos para la evaluación de la calidad fisicoquímica del agua*. Blanecolor Ltda.
- Luquet, G., y Marin, F. (2004). Biomineralisations in crustaceans: storage strategies. *Comptes Rendus Palevol*, 3(6-7), 515-534. <https://doi.org/10.1016/j.crpv.2004.07.015>
- Méndez, M. (1981). Claves de identificación y distribución de los langostinos y camarones (Crustacea: Decápoda) del mar y ríos de la costa del Perú. *Boletín del Instituto del Mar del Perú*, 5, 1-170.
- Morris, M. A., y Greenaway, P. (1992). High affinity, Ca<sup>2+</sup> specific ATPase and Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase in the gills of a supralittoral crab *Leptograpsus variegatus*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A; Physiology*, 102(1), 15-18. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(92\)90004-A](https://doi.org/10.1016/0300-9629(92)90004-A)
- New, M. B. (2002). Farming freshwater prawns. A manual for the culture of *Macrobrachium rosenbergii*. FAO Fisheries Technical Paper 428. <http://www.fao.org/3/y4100e/y4100e.pdf>
- PRODUCE. (10 de agosto de 2019). *Anuario estadístico pesquero y acuícola 2018*. Ministerio de la Producción, Perú. Recuperado el 10 de agosto de 2020 de <http://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/shortcode/oe-documentos-publicaciones/publicaciones-anuales/item/901-anuario-estadistico-pesquero-y-acuicola-2018>
- Ramírez León, M., Cántaro Álvarez, R. y Reyes Avalos, W. (2018). Growth and survival of males of *Cryphiops caementarius* (Palaemonidae) with diets supplemented with common salt. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 46(2), 469-474. <http://doi.org/10.3856/vol46-issue2-fulltext-22>
- Reyes-Avalos, W. E. (2011). Crecimiento, reproducción y supervivencia de hembras del camarón de río *Cryphiops caementarius* criados en recipientes individuales. *Sciéndo*, 14(1-2), 75-86.
- Reyes-Avalos, W. (2016). Effect of culture container on the survival and growth of male *Cryphiops caementarius* in individualized systems. *Revista Bio Ciencias*, 3(4), 311-325. <http://dx.doi.org/10.15741/revbio.03.04.06>
- Reyes Avalos, W., Campoverde Vigo, L., Ferrer Chujutalli, K., y Sernaqué Jacinto, J. (2020). Preferencia termal de postlarvas del camarón de río *Cryphiops caementarius* previamente aclimatados a diferentes temperaturas. *Ecosistemas*, 29(1), 1802. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1802>
- Romano, P., Fabritius, H., y Raabe, D. (2007). The exoskeleton of the lobster, *Homarus americanus* as an example of a smart anisotropic biological material. *Acta Biomaterialia*, 3(3), 301-309. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2006.10.003>
- Rukke, N. A. (2002). Effects of low calcium concentrations on two common freshwater crustaceans, *Gammarus lacustris* and *Astacus astacus*. *Functional Ecology*, 16(3), 357-366. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2002.00637.x>
- Sá, M. G., Baptista, B. B., Farah, L. S., Leite, V. P., y Zanotto, F. P. (2010). Calcium transport and homeostasis in gill cells of freshwater crab *Dilocarcinus pagei*. *Journal of Comparative Physiology B*, 180, 313-321. <https://doi.org/10.1007/s00360-009-0427-4>
- Senmache Zamudio, N., y Reyes Avalos, W. (2020). Efecto de dietas con zeolita natural en el crecimiento y supervivencia del camarón de río *Cryphiops caementarius*.

- Rebiol*, 40(1), 30-38. <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2020.10.01.04>
- Shechter, A., Glazer, L., Cheled, S., Mor, E., Weil, S., Berman, A., Bentov, S., Aflalo, E. D., Khalaila, I., y Sagi, A. (2008). A gastrolith protein serving a dual role in the formation of an amorphous mineral containing extracellular matrix. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(20), 7129-7134. <https://doi.org/10.1073/pnas.0800193105>
- Tavabe, K. R., Rafiee, G., Shoeiry, M. M., Houshmandi, S., Frinsko, M., y Daniels, H. (2015). Effects of water hardness and calcium: magnesium ratios on reproductive performance and offspring quality of *Macrobrachium rosenbergii*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 46(5), 519-530. <https://doi.org/10.1111/jwas.12217>
- Tierney, L. J., Wild, C. H., y Furse, J. M. (2019). Total incombustible (mineral) content of *Cherax quadricarinatus* differs between feral populations in Central-Eastern Australia. *PeerJ*, 7, e6351. <https://doi.org/10.7717/peerj.6351>
- Terrones España, S., y Reyes Avalos, W. (2018). Efecto de dietas con ensilado biológico de residuos de molusco en el crecimiento del camarón *Cryphiops caementarius* y tilapia *Oreochromis niloticus* en co-cultivo intensivo. *Scientia Agropecuaria*, 9(2), 167-176. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.02.01>
- Wærvågen, S. B., Andersen, T., y Taugbøl, T. (2016). Exoskeleton calcification in Norwegian populations of the crayfish *Astacus astacus* (Linnaeus, 1758) (Decapoda: Astacidae) varies with size, gender, and ambient calcium concentration. *Journal of Crustacean Biology*, 36(2), 89-197. <https://doi.org/10.1163/1937240X-00002406>
- Wetzel, J. (2001). A production method for freshwater prawn in Illinois Ponds. Rural Enterprise and Alternative Development Initiative Report. *Report*, 10, 1-13.
- Wheatly, M. G. (1999). Calcium homeostasis in crustacea: the evolving role of branchial, renal, digestive and hypodermal epithelia. *Journal of Experimental Zoology*, 283, 620-640. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-010X\(19990601\)283:7%3C620::AID-JEZ2%3E3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-010X(19990601)283:7%3C620::AID-JEZ2%3E3.0.CO;2-3)
- Wheatly, M. G., y Toop, T. (1989). Physiological responses of the crayfish *Pacifastacus leniusculus* (Dana) to environmental hyperoxia. II. The role of the antennal gland in acid-base and ion regulation. *Journal of Experimental Biology*, 143, 53-70.
- Wheatly, M. G., y Gannon, A. T. (1995). Ion regulation in crayfish: Freshwater adaptations and the problem of molting. *American Zoologist*, 35, 49-59. <https://doi.org/10.1093/icb/35.1.49>
- Wheatly, M. G., Zanotto, F. P. y Hubbard, M. G. (2002). Calcium homeostasis in crustaceans: subcellular Ca dynamics. *Comparative Biochemistry and Physiology - B Biochemistry and Molecular Biology*, 132, 163-178. [https://doi.org/10.1016/s1096-4959\(01\)00520-6](https://doi.org/10.1016/s1096-4959(01)00520-6)
- Wilder, M. N., Huong, D. T. T., Jasmani, S., Jayasankar, V., Kaneko, T., Aida, K., Hatta, T., Nemoto, S., y Wigginton, A. (2009). Hemolymph osmolality, ion concentrations and calcium in the structural organization of the cuticle of the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*: Changes with the molt cycle. *Aquaculture*, 292, 104-110. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.03.034>
- Winkler, A. (1986). Effects of inorganic sea water constituents on branchial Na-K-ATPase activity in the shore crab *Carcinus maenas*. *Marine Biology*, 92(4), 537-544. <https://doi.org/10.1007/BF00392513>
- Zacarías Ríos, S., y Yépez Pinillos, V. (2015). Camarón de río *Cryphiops caementarius* (Molina, 1782) en la costa centro-sur del Perú. 2007. *Informe del Instituto del Mar del Perú*, 42(3), 398-415.